



TITLE:

The binary population synthesis in the early universe and the detection rate of gravitational waves from the binary black holes(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Kinugawa, Tomoya

CITATION:

Kinugawa, Tomoya. The binary population synthesis in the early universe and the detection rate of gravitational waves from the binary black holes. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19491>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2018-07-10に公開

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	衣川 智弥
論文題目	The binary population synthesis in the early universe and the detection of gravitational waves from the binary black holes (宇宙初期からの連星進化計算と連星ブラックホールからの重力波の検出率)		
(論文内容の要旨)			
<p>我が国のKAGRAを始めとする第2世代のレーザー干渉計型重力波検出器は現在建設中である。中でも米国のadvanced LIGO(Laser Interferometer Gravitational wave Observatory)は2015年9月から2016年1月まで、最終目標感度の3分の1程度で観測中である。重力波源としては中性子星(NS)連星の合体、NS-ブラックホール(BH)連星やBH-BH連星の合体時に放出される重力波が有望視されている。NS-NS連星に対しては観測されているものがいくつかあるので、それらを元に検出率の推定が可能であるが、NS-BH, BH-BH連星に関しては観測例がないので、理論的に推定する方法が唯一である。そのためにもまず必要なのは、星の進化の計算結果である。申請者は宇宙で最初に出来た金属を含まない種族III星に注目した。そこで、Marigo(2001)の結果を元に精度が数%以下で、時間の関数として半径等を与えられるfitting公式を完成させた。次に金属量が2%程度の太陽のような種族I星で観測的根拠のある、質量関数、質量比の分布関数、離心率の分布関数、軌道長半径の分布関数を与えて、100万個の連星を用いたモンテカルロ計算を実行した。ただし、質量関数に関しては種族III星で示唆されているFlatなものも採用した。使用した数値コードはHurley et al. (2002)による種族I星のものであるが、種族III星用にするのは、上記のfitting公式の構築が必須であった。種族I星と種族III星の大きな違いは星が金属を含むかどうかであり、その結果種族III星の半径は小さく、質量放出をしない。また質量が30太陽質量辺りの星は赤色巨星ではなく青色巨星でその一生を終わるのが、重要な相違点である。その結果連星相互作用が少ない事が期待される。また、種族III星は宇宙の赤方偏移が10程度で形成されると考えられているが、BH-BH連星が重力波放出によって合体する時間は軌道半径の4乗に比例するので、現在合体するものが存在する。モンテカルロ計算コードが種族I星の場合Hurley et al. (2002)の結果を再現することと、連星の数を10万個と1000万個にした場合に予想される答えの収束性を確かめた。得られた結果は、1)主に連星BHが形成され、各々の質量は太陽質量の30倍程度、全質量としては60倍程度のBH-BH連星が主に形成される。2) KAGRA等では地球から30億光年まで検出可能である。3) 検出率は質量関数として平坦(Salpeter)とした場合、それぞれ140(68)/年・(SFRp/(10^{-2.5}太陽質量/Mpc³)・Errsysとなる事を示した。ここでSFRpは種族III星の形成率のピーク値、ErrsysはPopIのパラメーターを使用したものが多いので、それらが未知の種族III星の場合に存在するはずの系統誤差を表している。現在のモデルでErrsys=1と定義している。次に、Errsysの範囲を決める為に、3種類の質量関数、2種類の離心率分布関数、BH形成が非等方で平均反跳速度100km/sと300km/sを受ける2例、連星が相互作用するパラメーター3種類、質量放出のパラメーター3種類、さらに、最も連星が出来にくいパラメーターを全部採用した最悪の場合の計13種類のモンテカルロ計算を実行して、0.046 < Errsys < 4である事を示した。また、連星になる割合fbとBHのQNM(Quasi Normal Mode)の観測可能性も考慮に入れ、KAGRA等での検出率が、8.3-720/年・(SFRp/(10^{-2.5}太陽質量/Mpc³)(fb/(1+fb)/0.33)となる事を示した。さらに、QNMが一般相対性理論に従うかを定めるには、SNR > 35が必要で、その為のイベント率は3.2/年・(SFRp/(10^{-2.5}太陽質量/Mpc³)(fb/(1+fb)/0.33)Errsysとなる事を示した。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

星が出来る為には星の元となるガスの塊からエネルギーが外に放出されて高密度になる必要がある。太陽のような金属が2%位あるいわゆる種族I星の場合はダストが形成され、それによる熱放射で十分な冷却が可能で太陽質量の0.1倍程度の軽い星まで形成される。しかし、宇宙で最初に出来た金属のない種族III星では高能率な冷却材がないため、太陽質量の1000倍程度以上の星しか形成されないと考えられていた。しかし、Hosokawa et al. (2012)は、種族III星でも中心に出来た星の紫外線放射によってあとから降着して来るガスを蒸発させるため、種族III星の典型的な質量は太陽質量の40倍程度である事を示した。申請者は種族III星の質量に関する状況の変化をいち早く取り入れ、種族III星起源のBH連星の質量がそれぞれは太陽質量の30倍程度になり、重力波放出によって合体後には太陽質量の60倍程度になることを100万個の連星のモンテカルロシミュレーションを用いて世界で始めて示した。また、種族III星連星は重力波放出による合体時間が連星間の距離の4乗に比例するため、現在でも合体するので、KAGRA等の第2世代のレーザー干渉計型重力波検出器で観測可能な合体率になる事を示した。これは新しい知見であり高く評価できる。

次に申請者は、種族III星は直接には観測されていない為に種族I星のデータを用いた連星のモンテカルロシミュレーションは不十分である事を認識し、質量関数、離心率の分布関数、軌道長半径の分布関数、連星相互作用のパラメーター、BH形成時のkick等の13個のパラメーターを含めたシミュレーションを実行し、最悪の場合でもKAGRA等で十分検出可能である事を示した。これは申請者の結果がrobustである事を示唆しているので高く評価できる。

次に申請者は、太陽質量の30倍程度で重力波を放出して合体後には太陽質量の60倍程度になる連星は、合体前のchirp signalと合体後のQNM(準固有振動)が、KAGRA等の第2世代のレーザー干渉計型重力波検出器の最も感度が良い震動数帯になる事を指摘した。もし、申請者の指摘通りの重力波が検出されれば、強い重力場中での一般相対性理論の正否が判定出来る。それは画期的であり、何らかの賞に値する成果となる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年1月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降